



*Hel.*



CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

COPY OF PAPERS  
ORIGINALLY FILED

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 100 62 571.1

**Anmeldetag:** 15. Dezember 2000

**Anmelder/Inhaber:** Infineon Technologies AG, München/DE

**Bezeichnung:** Simulationsverfahren und Testanordnung zur  
Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen

**IPC:** G 01 R 23/20

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der  
ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 20. Dezember 2001  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

Ebert

## Beschreibung

Simulationsverfahren und Testanordnung zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen

5

Die Erfindung betrifft ein Simulationsverfahren und eine Testanordnung zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen einer zu testenden analogen Schaltung für die Verarbeitung von diskreten Multitonsignalen.

10

Signalverzerrungen sind unerwünschte Veränderungen der Signalform bzw. Kurven von Signalen beim Durchlauf von Übertragungsgliedern, beispielsweise von Verstärkern. Man unterscheidet dabei lineare und nichtlineare Signalverzerrungen.

15

Lineare Signalverzerrungen werden durch frequenzabhängige Dämpfung und Phasenverschiebungen hervorgerufen und lassen sich durch geeignete Entzerrer kompensieren. Im Gegensatz dazu werden nichtlineare Signalverzerrungen durch nichtlineare Kennlinien aktiver Bauelemente hervorgerufen und führen zu einem Auftreten von Signaloberwellen der in dem Signal enthaltenen Frequenzen. Nichtlineare Signalverzerrungen verstärken beispielsweise die Verständlichkeit und das Klangbild von Tonsignalübertragungen.

20

25

Ein Maß für auftretende nichtlineare Signalverzerrungen innerhalb von Aussteuerungsgrenzen ist der sogenannte Klirrfaktor. Der Klirrfaktor wird zumeist als Klirrgrad in Prozenten angegeben. Man unterscheidet dabei den Einzelklirrfaktor für die einzelnen Oberwellen bzw. Harmonischen und den Gesamtklirrfaktor, der das Verhältnis des Effektivwerts der Oberwellenspannung zum Effektivwert des Gesamtspannungsgemisches ist.

30

Fig. 1 zeigt schematisch eine Meßanordnung zur Messung der Nichtlinearitäten einer analogen Schaltung nach dem Stand der Technik. Die zu messende analoge Schaltung enthält von einem Signalgenerator ein Testsignal, beispielsweise ein Sinustest-

35

signal, und eine nachgeschaltete Meßschaltung mißt das von der analogen Schaltung abgegebene Ausgangssignal und berechnet daraus den zugehörigen Klirrfaktor.

- 5 Der Klirrfaktor bzw. THD-Wert ist ein Maß für die Güte der analogen Schaltung bzw. für deren Linearität.

Der THD-Wert bzw. Klirrfaktor gibt jedoch nur sehr ungenau die Linearität derartiger analoger Schaltungen wieder, die zur Signalverarbeitung von diskret modulierten Tonsignalen eingesetzt werden. Das diskrete Multitonverfahren bzw. DMT-Verfahren ist ein digitales Übertragungsverfahren, das insbesondere für kurze Distanzen und drahtgebundene Signalübertragungen eingesetzt wird. Das DMT-Modulationsverfahren wird  
10 beispielsweise in xDSL-Übertragungssystemen (DSL: Digital Subscriber Line) eingesetzt, bei denen eine Datenübertragung über ein verdrehtes Telefonleitungspaar bidirektional erfolgt.  
15

20 Fig. 2 zeigt schematisch eine Anordnung, bei der eine SLIC-Schaltung (SLIC: Subscriber Line Interface Circuit) über eine Telefonleitung mit einem Modem eines Endteilnehmers verbunden ist, an das ein Rechner angeschlossen ist. Die Datenübertragung über die Telefonleitung erfolgt mittels DMT-Verfahren, um hohe Datenübertragungsraten zu erzielen. Bei dem DMT-Verfahren wird das zur Verfügung stehende Frequenzband von  
25 20 kHz bis 1,104 MHz in 255 Unterkanäle eingeteilt, die jeweils eine Frequenzbandbreite von 4,3125 kHz aufweisen. Für jeden dieser Unterkanäle werden mittels eines digitalen Modulationsverfahrens, beispielsweise einem 64 QAM-Modulationsverfahren, Daten übertragen.  
30

Fig. 3 zeigt schematisch das Signalspektrum eines DMT-modulierten Signals. Will man die Auswirkungen von nichtlinearen Signalverzerrungen der SLIC-Schaltung auf die Übertragungseigenschaften untersuchen, ist die Messung des Klirrfaktors der SLIC-Schaltung kein geeignetes Maß, da es durch das  
35

DMT-Signal mit dem in Fig. 3 dargestellten Spektrum Intermodulationssignalprodukte entstehen, die den berechneten Klirrfaktor der SLIC-Schaltung verfälschen.

- 5 Es ist daher die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Testanordnung zu schaffen, durch die die nichtlinearen Signalverzerrungen einer analogen Schaltung zur Verarbeitung von diskreten Multitonsignalen genau ermittelt werden.

10

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Simulationsverfahren mit den im Patentanspruch 1 und durch eine Testanordnung mit den im Patentanspruch 8 angegebenen Merkmalen gelöst.

15

Die Erfindung schafft ein Simulationsverfahren zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen einer zu testenden analogen Schaltung für die Verarbeitung von diskreten Multitonsignalen, wobei das Simulationsverfahren die folgenden

- 20 Schritte aufweist, nämlich:

Anlegen eines diskreten Multitonsignals, das eine Vielzahl von gleichmäßig beabstandeten Trägerfrequenzen zur Datenübertragung in einem vorbestimmten Frequenzbereich aufweist, an die zu testende analoge Schaltung, und ein dazu parallel geschaltetes, einstellbares ModellierungsfILTER,

25

Subtrahieren des Ausgangssignals der zu testenden analogen Schaltung von dem Ausgangssignal des Modellierungsfilters zur Erzeugung eines Differenzsignals,

Einstellen des Modellierungsfilters, bis das Differenzsignal minimal ist zur Generierung einer Ersatztestschaltung der analogen Schaltung,

30

erneutes Anlegen des diskreten Multitonsignals an das eingestellte ModellierungsfILTER, wobei mindestens eine Trägerfrequenz des diskreten Multitonsignals unterdrückt wird, zur Messung des Intermodulationsprodukts des eingestellten digitalen Modellierungsfilters.

35

Aus dem gemessenen Intermodulationsprodukt wird vorzugsweise ein Multiton-Signalleistungsverhältnis als Maß der nichtlinearen Signalverzerrung berechnet.

- 5 Bei dem einstellbaren Modellierungsfiler handelt es sich vorzugsweise um ein diskretes Volterra-Filter.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird das eingestellte Modellierungsfiler, das eine Ersatzschaltung der analogen Schaltung bildet, mit weiteren eingestellten Modellierungsfilern, die Ersatzschaltungen weiterer analoger Schaltungen bilden, zur Generierung einer Gesamtersatzschaltung für eine analoge Gesamtschaltung verschaltet.

15

Die analoge Gesamtschaltung ist dabei vorzugsweise eine DSL-SLIC-Schaltung.

Das diskrete Multitonsignal wird vorzugsweise durch einen  
20 Signalgenerator generiert.

Die Erfindung schafft ferner eine Testanordnung zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen von analogen Teilschaltungen einer Signalverarbeitungsschaltung zur Signalverarbeitung von diskret modulierten Tonsignalen mit  
25 einem Signalgenerator zur Erzeugung von diskreten Multitonsignalen,

einstellbaren Modellierungsfilern, die jeweils parallel zu einer zugehörigen analogen Teilschaltung geschaltet sind, wobei die Signaleingänge der Modellierungsfiler und der analogen Teilschaltungen an den Signalgenerator angeschlossen  
30 sind,

Subtrahierschaltungen, die jeweils das Ausgangssignal eines Modellierungsfilters von dem Ausgangssignal der zugehörigen analogen Teilschaltung zur Bildung von Differenzsignalen subtrahieren,  
35

Einstellschaltungen, die die Differenzsignale jeweils mit einem Vergleichswert vergleichen und die ModellierungsfILTER einstellen, bis die Differenzsignale mit dem jeweiligen Vergleichswert übereinstimmen,

- 5 und mit einer an den Ausgängen der ModellierungsfILTER angeschlossenen Meßschaltung zur Messung der Intermodulationsprodukte der ModellierungsfILTER.

10 Im weiteren werden bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Testanordnung zur Erläuterung erfindungswesentlicher Merkmale beschrieben.

Es zeigen:

15

Fig. 1 eine Meßanordnung zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen einer zu testenden analogen Schaltung nach dem Stand der Technik;

20 Fig. 2 eine xDSL-Schaltungsanordnung nach dem Stand der Technik;

Fig. 3 ein Signalspektrum eines DMT-Signals nach dem Stand der Technik;

25

Fig. 4 eine Testanordnung zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen gemäß der Erfindung;

Fig. 5 Signalspektrum von DMT-Signalen;

30

Fig. 6 ein Blockschaltbild eines einstellbaren Modellierungsfilters gemäß der Erfindung;

Fig. 7 ein Beispiel einer Gesamtersatzschaltung für eine  
35 SLIC-Schaltung, die entsprechend dem erfindungsgemäßen Verfahren generiert worden ist.

Fig. 4 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Testanordnung zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen einer analogen Schaltung.

5 Ein Signalgenerator 1 mit einem Signalausgang 2 ist über eine Leitung 3 an einen Verzweigungsknoten 4 angeschlossen. Der Verzweigungsknoten 4 ist über eine Leitung 5 mit einem Signaleingang 6 einer zu testenden analogen Schaltung 7 verbunden, die einen Signalausgang 8 aufweist. Der Signalausgang 8  
10 der analogen Schaltung 7 ist über eine Leitung 9 mit einem Eingang 10 einer Subtrahierschaltung 11 verbunden. Die Subtrahierschaltung 11 besitzt einen Ausgang 12, der über eine Leitung 13 mit einem Eingang 14 einer Filtereinstellschaltung 15 verbunden ist. Die Einstellschaltung 15 weist einen Aus-  
15 gang 16 auf, der über Einstelleitungen 17 mit einem einstellbaren Modellierungsfiler 18 verbunden ist. Das Modellierungsfiler 18 besitzt einen Signaleingang 19, der über eine Signalleitung 20 mit dem Verzweigungsknoten 4 verbunden ist. Das einstellbare Modellierungsfiler 18 weist ferner einen  
20 Signalausgang 21 auf, der über eine Leitung 22 an einen Verzweigungsknoten 23 angeschlossen ist. Der Verzweigungsknoten 23 ist über eine Leitung 24 mit einem zweiten Eingang 25 der Subtrahierschaltung 11 verbunden. Ferner ist der Verzweigungsknoten 23 über eine Leitung 26 an einen Eingang 27 einer  
25 Meßschaltung 28 angeschlossen. Die Meßschaltung 28 ist zur Messung eines Intermodulationsprodukts des eingestellten digitalen Modellierungsfilters 18 vorgesehen. Die Meßschaltung 28 weist einen Signalausgang 29 auf, der über eine Leitung 30 mit einem Eingang 31 einer Berechnungsschaltung 32 zur Be-  
30 rechnung eines Multiton-Signalleistungsverhältnisses MTPR (multi tone power ratio) verbunden ist.

Bei der analogen Testschaltung 7, wie sie in Fig. 4 dargestellt ist, kann es sich um eine beliebige analoge Schaltung  
35 handeln, beispielsweise um eine Teilschaltung innerhalb einer analogen SLIC-Schaltung. Derartige analoge Teilschaltungen sind beispielsweise ein in der SLIC-Schaltung vorgesehener

Stromsensor, ein Echosignal-Kompensationsschaltkreis oder ein Puffer-Operationsverstärker. An die beiden Signaleingänge 6, 19 der zu testenden analogen Schaltung 7 und des Modellierungsfilters 18 wird parallel ein diskretes Multitonsignal als Anregungssignal angelegt. Die zu testende analoge Schaltung 7 gibt über den Signalausgang 8 ein Ausgangssignal an den Signaleingang 10 der Subtrahierschaltung 11 ab, die von diesem Ausgangssignal das von dem Modellierungsfilter 18 abgegebene Ausgangssignal subtrahiert und ein Differenzsignal über den Signalausgang 12 und die Signalleitung 13 an den Signaleingang 14 der Einstellschaltung 15 abgibt. Die Einstellschaltung 15 vergleicht das anliegende Differenzsignal mit einem Sollwert, beispielsweise null. Die Einstellschaltung 15 stellt die Parameter bzw. Filterkoeffizienten des Modellierungsfilters 18 so lange ein, bis das anliegende Differenzsignal den Sollwert erreicht. Danach wird der Einstellvorgang beendet, und das eingestellte Modellierungsfilter 18 bildet eine Ersatzschaltung für die zu testende analoge Schaltung 7. In einem weiteren Schritt erzeugt der Signalgenerator 1 ein weiteres diskretes Multitonsignal, das mit dem zuvor angelegten diskreten Multitonsignal im wesentlichen identisch ist, wobei jedoch mindestens eine Trägerfrequenz (Missing-Tone-Verfahren) unterdrückt wird.

Fig. 5A zeigt schematisch das Spektrum dieses diskreten Multitonsignals.

Die diskrete Trägerfrequenz  $f_i$  wird nicht an das Modellierungsfilter 18 angelegt.

Fig. 5B zeigt das Spektrum des von dem Modellierungsfilter 18 an die Meßschaltung 28 abgegebenen Signals. Wie man aus Fig. 5B erkennen kann, tritt bei der Frequenz  $f_i$  ein Spektralanteil auf, der durch Intermodulation entsteht. Die Amplitude des Spektralanteils  $D$  ist ein Maß für die Nichtlinearität des eingestellten Modellierungsfilters 18 und somit für



die durch die analoge Schaltung 7 hervorgerufenen nichtlinearen Signalverzerrungen.

Die Berechnungsschaltung 32 berechnet aus dem gemessenen Intermodulationsprodukt D das Multiton-Leistungsverhältnis MTPR als Maß für die Nichtlinearität der analogen Testschaltung 7 gemäß folgender Gleichung:

$$\text{MTPR}_i = 10 \log \left( \frac{S_i}{N_i + \sum_j D_{ij}} \right) \text{ in dB} \quad (1)$$

10

wobei der Index  $i$  die  $i$ -te Trägerfrequenz angibt,  $S_i$  die übertragene Signalleistung der  $i$ -ten Trägerfrequenz,  $N_i$  das Rauschen, und  $D_{ij}$  die Intermodulationsprodukte von übrigen  $j$ -Trägerfrequenzen des DMT-Signals ist.

15

Das durch den Signalgenerator 1 erzeugte Anregungssignal  $u(t)$  kann wie folgt beschrieben werden:

$$u(t) = \sum_{k=n_1}^{n_2} A_k \cos(k\omega_0 t + \varphi_k) \quad (2)$$

20

wobei  $A_k$  die Amplitude und  $\varphi_k$  die Phase der  $k$ -ten Trägerfrequenz darstellt. Die DMT-Signale besitzen unterschiedliche Spitzenwerte in Abhängigkeit von der Phasenverteilung. Diese Spitzenwerte werden durch den Crest-Faktor definiert.

25

Bei dem in Fig. 4 dargestellten Modellierungsfiler 18 handelt es sich vorzugsweise um ein sogenanntes Volterra-Filter. Ein diskretes Volterra-Filter der Ordnung  $N$  und der Speichervlänge  $M_n$  ist beschrieben durch:

30

$$y(l) = h_0 + \sum_{n=1}^N \sum_{k_1=0}^{M_n-1} \dots \sum_{k_n=0}^{M_n-1} h_n(k_1, \dots, k_n) \prod_{i=1}^n u(l-k_i) \quad (3)$$

wobei die Volterra-Kerne  $h_n(k_1, \dots, k_n)$  die verallgemeinerte Impulsantwort von digitalen Filterkomponenten innerhalb des Volterra-Filters darstellen, und  $u(\ell)$  für die Eingangssignalsequenz steht.

5

Bei einer alternativen Ausführungsform ist das ModellierungsfILTER 18 ein neuronales Netzwerk. Derartige neuronale Netzwerke sind in S. Hayken „Neural Networks: A comprehensive foundation“ in Prentice-Hall New York, 1998 beschrieben.

10

Fig. 6 zeigt schematisch ein Volterra-Filter als ModellierungsfILTER 18. Martin Schetzen beschreibt in „The Volterra and Wiener Theories of „Non linear System“ John Wiley and Sons, New York 1980 die Volterra-Theorie.

15

Das sogenannte Hammerstein-Modell für Volterra-Filter wird durch folgende Gleichung beschrieben:

$$\bar{h}_{nH}(k_1, \dots, k_n) = h_n(k_1, \dots, k_n) \prod_{i=2}^n \delta_{k_i, k_i} \quad (4)$$

20

Aus den Gleichungen (3) und (4) ergibt sich das Hammerstein-Modell wie folgt:

$$y(1) = h_0 + \sum_{n=1}^N \sum_{k=0}^{M_n-1} h_{nH}(k) [u(1-k)]^n \quad (5)$$

25

Das durch die Gleichung (5) beschriebene Hammerstein-Modell kann wie folgt zu einem Volterra-Hammerstein-Modell verallgemeinert werden:

$$\begin{aligned} 30 \quad y(1) = & h_0 + \sum_{n=2}^N \sum_{k_1=0}^{\hat{M}_n-1} \dots \sum_{k_n=0}^{\hat{M}_n-1} h_n(k_1, \dots, k_n) \prod_{i=1}^n u(1-k_i) \\ & + \sum_{n=1}^N \sum_{k=\hat{M}_n}^{M_n-1} h_{nH}(k) [u(1-k)]^n \end{aligned} \quad (6)$$

Die Gleichungen (3), (5), (6) sind linear in den Parametern  $h$ , wobei die Eingangssignalfolge  $u(l)$  als Vektor ausgedrückt werden kann:

$$u(l) = [u(l) \dots u(l-M_1) \ u(l)u(l-1) \dots u(l-M_N)^N] \quad (7)$$

und wobei der korrespondierende Parametervektor des Modellierungsfilters 18 gegeben ist durch:

$$h = [h_1(0) \dots h_1(M_1) \ h_2(0,1) \dots h_N(M_N, \dots, M_N)]^T \quad (8)$$

Die Ausgangssignalfolge  $y(l)$  ergibt sich somit zu:

$$y(l) = U(l)h \quad (9)$$

15

wobei  $U(l)$ :

$$U(l) = [u(l), \dots, u(l+S)]^T \quad (10)$$

20 Die Volterra-Kerne  $h$  des Modellierungsfilters 18 werden so lange durch die Einstellschaltung 15 eingestellt, bis das Differenzsignal am Ausgang 12 der Subtrahierschaltung 11 minimal wird, d.h. die mittlere quadratische Abweichung minimal wird.

25

Fig. 7 zeigt beispielhaft die Modellierung einer analogen SLIC-Schaltung durch drei Modellierungsfiler 18-1, 18-2, 18-3. Diese bilden zusammen mit weiteren Schaltungskomponenten, beispielsweise einer Subtrahierschaltung 33, eine Gesamtersatzschaltung 34 für eine SLIC-Schaltung. Beispielsweise ist das eingestellte Modellierungsfiler 18-1 eine Ersatzschaltung für den Stromsensor, das Modellierungsfiler 18-2 eine Ersatzschaltung für den Echokompensations-Signalfad und das Modellierungsfiler 18-3 eine Ersatzschaltung für den Übertragungspfad der SLIC-Schaltung.

35

Die ModellierungsfILTER 18 weisen eine Filterordnung  $N$  auf. Die Filterordnung  $N$  wird ermittelt, indem man an die zu testende analoge Schaltung 7 ein Sinussignal anlegt und durch Fast-Fourrier-Transformation FFT des von der analogen Schaltung 7 abgegebenen Ausgangssignals für die Anzahl der harmonischen Frequenzen ermittelt. Die Anzahl der derart ermittelten harmonischen Frequenzen bestimmt die Filterordnung  $N$  der ModellierungsfILTER 18.

10 Mit dem erfindungsgemäßen Modulationsverfahren können Nicht-linearitäten von relativ komplexen analogen Schaltkreisanordnungen mit einer hohen Genauigkeit nachgebildet werden. Hierdurch ist es möglich, die Auswirkungen von nichtlinearen Teilschaltungen innerhalb eines komplexen Gesamtsystems, das aus analogen und digitalen Schaltungen besteht, zu untersuchen. Durch die Verwendung von Volterra-AbbildungsfILTERn kann insbesondere bei Einsatz des Volterra-Hammerstein-Filtermodells die Anzahl der einzustellenden bzw. zu berechnenden Modellparameter bedeutend reduziert werden. Hierdurch sind Simulationen an komplexen analogen Schaltungen mit relativ geringem Rechenaufwand möglich. Die notwendigen Simulationszeiten des erfindungsgemäßen Simulationsverfahrens sind aufgrund der geringen Anzahl von notwendigen Modellparametern sehr gering.

25 Durch das erfindungsgemäße Simulationsverfahren wird es erstmals möglich, nichtlineare Signalverzerrungen von komplexen analogen Schaltungen zu untersuchen, die diskret modulierte Tonsignal verarbeiten.

## Patentansprüche

1. Simulationsverfahren zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen einer zu testenden analogen Schaltung (7) für die Verarbeitung von diskreten Multitonsignalen, wobei das Simulationsverfahren die folgenden Schritte aufweist:

(a) Anlegen eines diskreten Multitonsignals, das eine Vielzahl von gleichmäßig beabstandeten Trägerfrequenzen zur Datenübertragung in einem vorbestimmten Frequenzbereich aufweist,

(b) Subtrahieren des Ausgangssignals der zu testenden analogen Schaltung (7) von dem Ausgangssignals des Modellierungsfilters (18) zur Erzeugung eines Differenzsignals;

(c) Einstellen des Modellierungsfilters (18), bis das Differenzsignal minimal ist zur Generierung einer Ersatztestschaltung der analogen Schaltung (7);

(d) erneutes Anlegen des diskreten Multitonsignals, wobei mindestens eine Trägerfrequenz unterdrückt wird, zur Messung des Intermodulationsprodukts (D) des eingestellten digitalen Modellierungsfilters (18).

2. Simulationsverfahren nach Anspruch 1,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass aus dem gemessenen Intermodulationsprodukt ein Multiton-Signalleistungsverhältnis berechnet wird.

3. Simulationsverfahren nach Anspruch 1 oder 2,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass das einstellbare Modellierungsfilters (18) ein zeitdiskretes Volterra-Filter oder ein neuronales Netz ist.

4. Simulationsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t ,

dass das einstellbare Modellierungsfilters (18) parallel zu der zu testenden analogen Schaltung (7) verschaltet wird.

5. Simulationsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

- 5 dass das eingestellte ModellierungsfILTER (18), das eine Ersatzschaltung einer analogen Schaltung (7) bildet, mit weiteren eingestellten ModellierungsfILTERn, die Ersatzschaltungen weiterer analoger Schaltungen bilden, zur Generierung einer Gesamtersatzschaltung für eine analoge Gesamtschaltung ver-
- 10 schaltet wird.

6. Simulationsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

- 15 dass die analoge Gesamtschaltung eine DSL-SLIC-Schaltung ist.

7. Simulationsverfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

- 20 dass die diskreten Multitonsignale in einem Signalgenerator (1) generiert werden.

8. Testanordnung zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen von analogen Teilschaltungen einer Signalverarbeitungsschaltung zur Signalverarbeitung von DMT-Signalen mit:

25 (a) einem Signalgenerator (1) zur Erzeugung eines diskreten Multitonsignals;

(b) einstellbaren ModellierungsfILTERn (18), die jeweils parallel zu einer zugehörigen analogen Teilschaltung (7) geschaltet sind, wobei die Signaleingänge der ModellierungsfILTER (18) und der analogen Teilschaltungen (7) an den Signal-

30 generator (1) angeschlossen sind;

(c) Subtrahierschaltungen, die jeweils das Ausgangssignal eines ModellierungsfILTERs (18) von dem Ausgangssignal der zugehörigen analogen Teilschaltung (7) zur Bildung eines Differenzsignals subtrahieren;

35

(d) einer Einstellschaltung, die die Differenzsignale mit einem Sollwert vergleichen und die Modellierungsfilter (18) einstellen, bis die Differenzsignale mit dem Sollwert übereinstimmen; und mit

- 5 (e) einer mit den Ausgängen der Modellierungsfilter (18) angeschlossenen Meßschaltung zur Messung der Intermodulationsprodukte der eingestellten Modellierungsfilter (18).

9. Testanordnung nach Anspruch 8,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,

dass der Testschaltung eine Berechnungsschaltung (32) zur Berechnung der Multiton-Signalleistungsverhältnisse der von dem Modellierungsfilter (18) abgegebenen Ausgangssignale nachgeschaltet ist.

## Zusammenfassung

Simulationsverfahren und Testanordnung zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen

5

Simulationsverfahren zur Ermittlung von nichtlinearen Signalverzerrungen einer zu testenden analogen Schaltung (7) für die Verarbeitung von diskreten Multitonsignalen, wobei das Simulationsverfahren die folgenden Schritte aufweist:

- 10 (a) Anlegen eines diskreten Multitonsignals, das eine Vielzahl von gleichmäßig beabstandeten Trägerfrequenzen zur Datenübertragung in einem vorbestimmten Frequenzbereich aufweist, an die zu testende analoge Schaltung (7) und ein einstellbares Modellierungsfilters (18);
- 15 (b) Subtrahieren des Ausgangssignals der zu testenden analogen Schaltung (7) von dem Ausgangssignals des Modellierungsfilters (18) zur Erzeugung eines Differenzsignals;
- (c) Einstellen des Modellierungsfilters (18), bis das Differenzsignal minimal ist zur Generierung einer Ersatztestschaltung der analogen Schaltung (7);
- 20 (d) erneutes Anlegen des diskreten Multitonsignals, wobei mindestens eine Trägerfrequenz unterdrückt wird, zur Messung des Intermodulationsprodukts (D) des eingestellten digitalen Modellierungsfilters (18).

25

Fig. 4



## Bezugszeichenliste

	1	Signalgenerator
	2	Ausgang
5	3	Leitung
	4	Verzweigungsknoten
	5	Leitung
	6	Eingang
	7	analoge Testschaltung
10	8	Ausgang
	9	Leitung
	10	Eingang
	11	Subtrahierschaltung
	12	Ausgang
15	13	Leitung
	14	Eingang
	15	Einstellschaltung
	16	Ausgang
	17	Einstelleitungen
20	18	Modellierungsfilter
	19	Eingang
	20	Leitung
	21	Ausgang
	22	Leitung
25	23	Verzweigungsknoten
	24	Leitung
	25	Eingang
	26	Leitung
	27	Eingang
30	28	Meßschaltung
	29	Ausgang
	30	Leitung
	31	Eingang
	32	Berechnungsschaltung
35	33	Subtrahierschaltung
	34	Gesamtschaltung

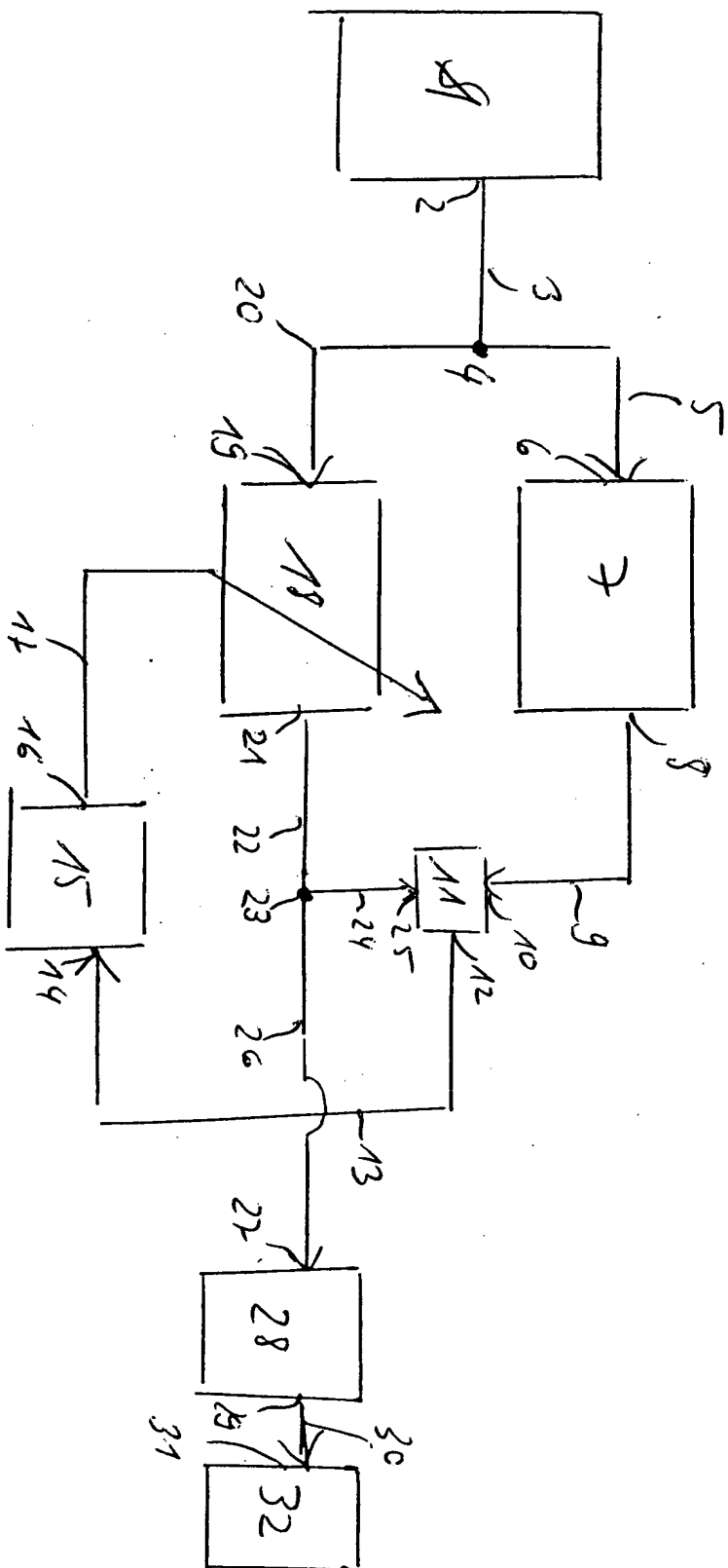


Fig. 4

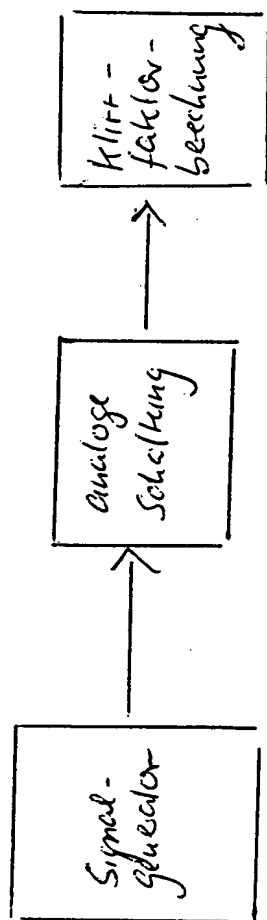


Fig. 1. Stat

$\frac{1}{x}$

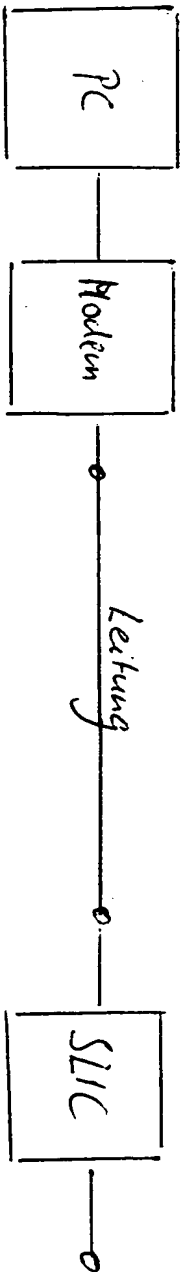


Fig. 2

Stdt

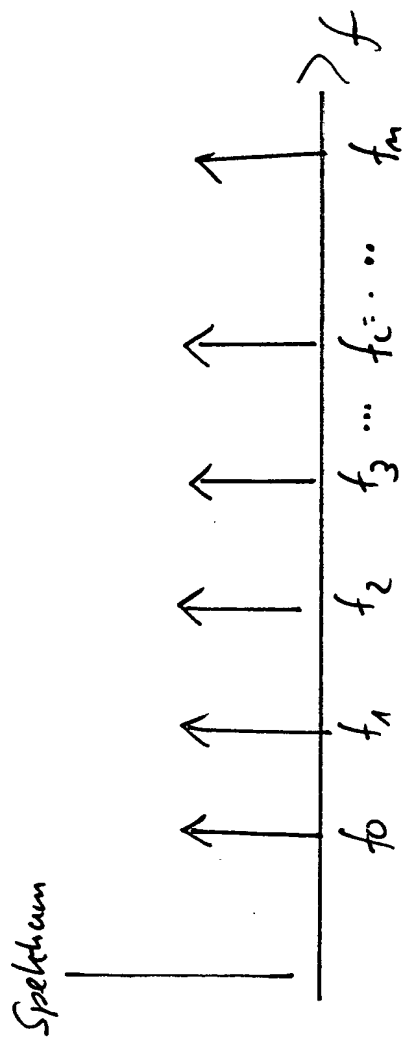


Fig. 3

ScA

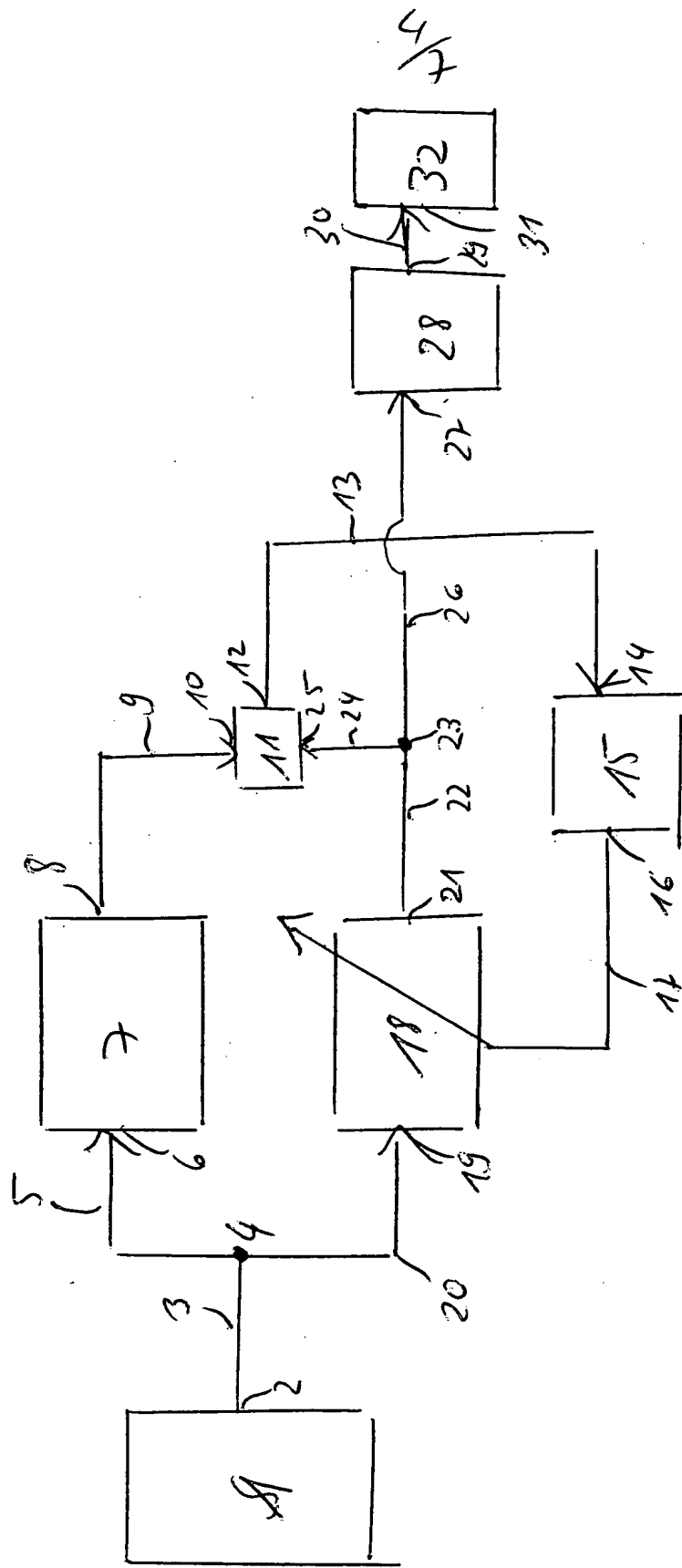


Fig. 9

5  
7

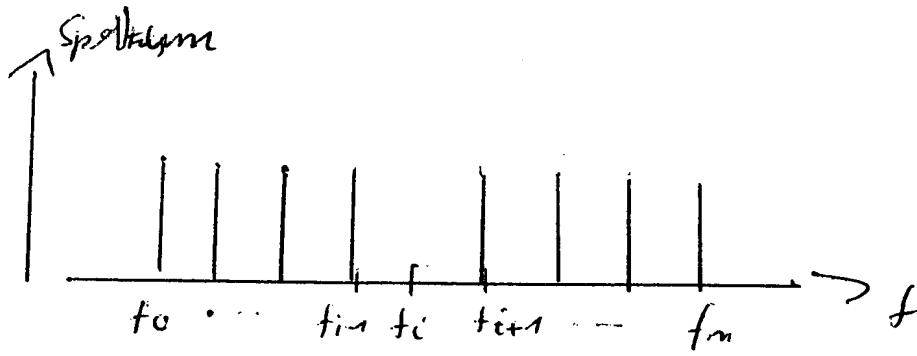


Fig 5a

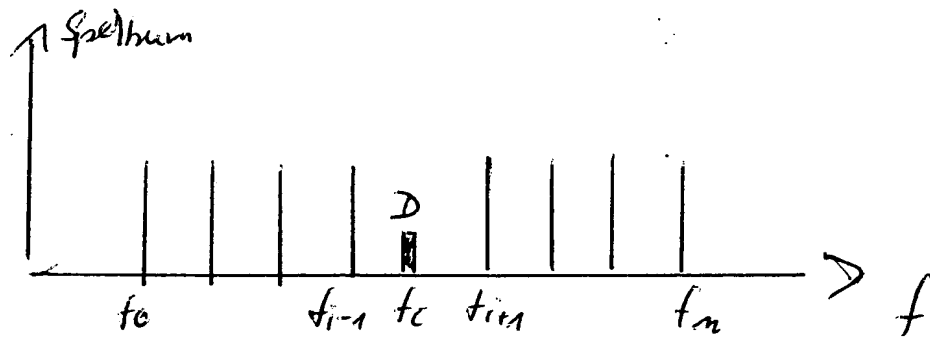
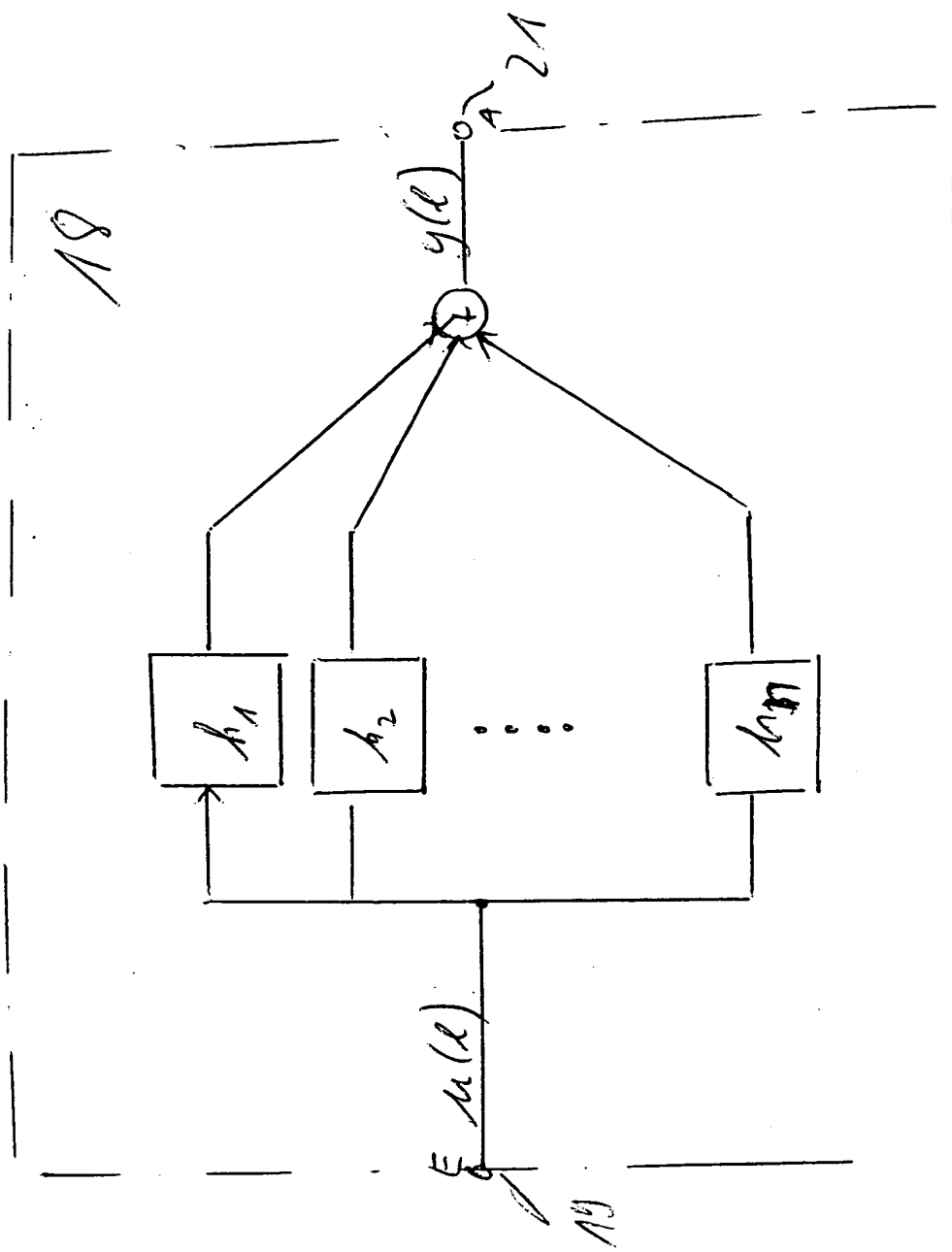


Fig. 5b



$\frac{G}{T}$

Fig. 6



7  
7

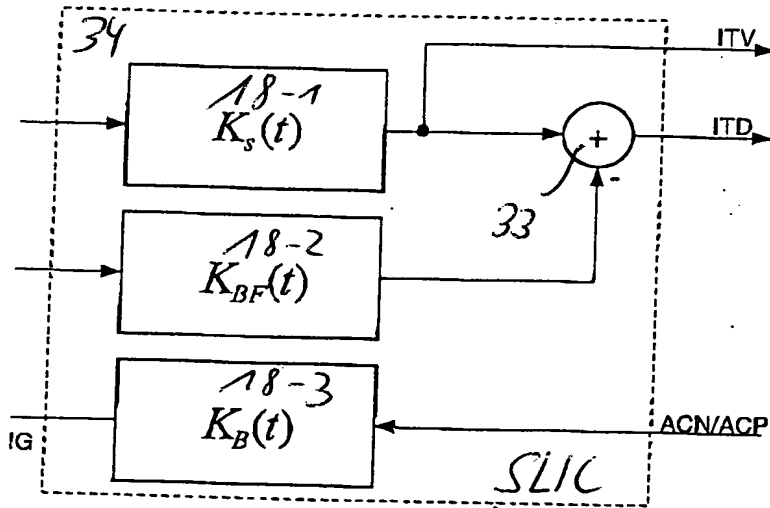


Fig. 7